

**OFERTA AMBIENTAL, CRECIMIENTO INICIAL DEL CAFÉ (*COFFEA*
ARABICA L) EN LA ZONA CAFETERA DE NARIÑO**

**JORGE EDUARDO CHECA BASTIDAS
WILMER ALEJANDRO NOGUERA RAMOS**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO**

2017

**OFERTA AMBIENTAL, CRECIMIENTO INICIAL DEL CAFÉ (*COFFEA*
ARABICA L) EN LA ZONA CAFETERA DE NARIÑO**

**JORGE EDUARDO CHECA BASTIDAS
WILMER ALEJANDRO NOGUERA RAMOS**

ASESOR:

HERNANDO CRIOLLO ESCOBAR

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO**

2017

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo de grado, son responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1 del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, Agosto de 2017

**OFERTA AMBIENTAL, CRECIMIENTO INICIAL DEL CAFÉ (*Coffea arabica*
L) EN LA ZONA CAFETERA DE NARIÑO**

**OFERTA AMBIENTAL, CRECIMIENTO INICIAL DEL CAFÉ (*Coffea arabica*
L) EN LA ZONA CAFETERA DE NARIÑO**

**ENVIRONMENTAL SUPPLY, INITIAL GROWTH OF COFFEE (*Coffea arabica*
L) IN THE COFFEE REGION OF NARIÑO**

Jorge Checa B.¹; Wilmer Noguera R.²

1. Estudiante Ingeniería Agronómica. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, checa9123@gmail.com.
2. Estudiante Ingeniería Agronómica. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, Wilmer.a.n.r@hotmail.com.

RESUMEN

En doce lotes experimentales ubicados en diferentes altitudes en los municipios cafeteros de Sandoná, Consacá, La Florida y La Unión, departamento de Nariño, se evaluó el crecimiento de plantas de café durante el primer año; se ubicó en cada lote experimental una estación meteorológica para evaluar RFA (Radiación Fotosintéticamente Activa), temperatura, HR (Humedad Relativa) y Precipitación. Se trabajó un diseño de bloques completos al azar, se tomó tres altitudes (<1500msnm, 1500-1800msnm, >1800msnm).

El crecimiento se evaluó en base a la altura de planta, diámetro basal, número y longitud de ramas, área foliar, IAF, correlacionadas con los datos climáticos; la altura de plantas de un año osciló entre 80,28 cm en La Florida (2030msnm) y 52,76 en Consacá (1668msnm); el diámetro basal entre 2,23 cm en La Florida (1677msnm) y 1,51cm en Consacá, (1668msnm) mientras que el número de ramas estuvo entre 64,87 en La Florida (1677) y 22,56 en Consacá (1577msnm). No se observó una estrecha relación entre las variables climáticas individuales y los parámetros de crecimiento evaluados, ya que existen otros factores determinantes como el tipo de suelo y la disponibilidad mineral.

Palabras clave: Modelos de crecimiento, índice de área foliar, variación climática, estrés hídrico, diámetro basal.

ABSTRACT

The growth of coffee plants during the first year was evaluated in 12 experimental lots located at different elevations in the municipalities of Sandoná, Consacá, La Florida and La Unión, in the department of Nariño. In each plot was ubicated a meteorological station in order to evaluate RFA (photosynthetically active radiation), temperature, RH and precipitation. A complete random block design was worked out in each municipality, taking three altitudes (<1500msnm, 1500-1800msnm,> 1800msnm).

Growth was evaluated based on plant height, basal diameter, number and length of branches, leaf area, LAI, correlated with climatic data. Plant height of one year ranged from 80.28 cm in La Florida (2030msnm) and 52.76cm in Consaca (1668msnm); the basal diameter was between 2.23cm in Florida (1677msnm) and 1.51cm in Consaca, (1668msnm) while the number of branches was between 64.87 in Florida (1677) and 22.56 in Consaca (1577msnm). It was not possible to determine a close relationship between the individual climatic variables and the growth parameters evaluated, since there are other determinants such as soil type and mineral availability.

Keywords: growht model, IAF, climate change, hydrical stress, base diameter.

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCION.....	8
METODOLOGIA.....	9
Localización.....	9
Diseño experimental	10
Altura de planta	10
Diámetro de planta.....	10
Número total de ramas.....	10
Área foliar.....	10
Índice de área foliar (IAF).....	10
Longitud de ramas.	10
Toma de datos climáticos.	10
Análisis estadístico.	10
RESULTADOS Y DISCUSION	11
Aspectos climatológicos	11
Radiación Fotosintéticamente Activa.	11
Humedad relativa.....	12
Temperatura.....	13
Precipitación.	14
Análisis de crecimiento	15
Altura de planta.	15
Diámetro basal del tallo.....	19
Índice de Área Foliar (IAF).....	26
CONCLUSIONES.....	29
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	30

INTRODUCCION

El género *Coffea* está ampliamente distribuido en los trópicos con más de 70 especies. La especie económicamente importante en el mundo es *Coffea arabica*, la cual abarca el 64% de la producción mundial, seguida por *Coffea canephora* con un 35% de la producción. El café esta entre los productos más importantes del mercado mundial ya que se cultivan aproximadamente 10.3 millones de hectáreas y representa el único ingreso económico para más de 25 millones de familias en más de 60 países (Pohlan y Janssens, 2011).

En 2015, la producción de café en Colombia alcanzó los 14,2 millones de sacos, la más alta registrada desde hace 23 años, cuando en 1992 la cosecha se ubicó en 16 millones de sacos. Asimismo, sobrepasó en un 16,7% la producción de 2014 en la que se contabilizaron 12,1 millones de sacos. Este importante logro refleja el estado actual de la estructura del parque cafetero más tecnificado, joven y resistente y en consecuencia más productivo. Con esta productividad, Colombia se sitúa por encima del promedio de otros productores de cafés suaves, pero continúa por debajo de los niveles registrados en Brasil (23,9 sacos/ha para producción de arábica y robusta) y Vietnam (44,7 sacos/ha), lo que indica que la caficultura colombiana aún tiene mucho espacio de mejoramiento en este campo (FEDECAFE, 2015).

La zona cafetera colombiana está localizada en la región Andina Tropical que presenta una gran variación de climas, originados por la interacción de la atmósfera con el relieve, en donde la altitud influye en las variaciones de temperatura, radiación solar y pluviosidad. De igual manera, estos elementos climáticos influyen en el crecimiento, desarrollo, en la cantidad y distribución de la cosecha del café, en la presencia de problemas fitosanitarios, en la calidad del secado del café y en la calidad de taza (CENICAFE, 2011).

Colombia y en particular la zona cafetera de Nariño se encuentra cerca de la línea ecuatorial y, por tanto, recibe abundante radiación solar durante todo el año, aunque por efectos del relieve hay regiones más expuestas a los rayos del sol que otras (Jaramillo, 2005).

De los factores ambientales, la disponibilidad de energía y agua juegan un papel importante en la producción, a través de su implicación en los procesos físicos y bioquímicos necesarios para el crecimiento y el desarrollo de la planta (Ritchie, 1991).

Según lo afirma Jaramillo (2005), cada región posee características climáticas que conducen a un comportamiento específico de la planta y determinan su productividad de acuerdo a la oferta ambiental.

Comprender la relación que existe entre el clima y el comportamiento del café permitirá una adecuada planificación y orientación de las distintas labores del cultivo, de igual forma contribuirá a establecer las épocas recomendadas para la siembra de acuerdo con la disponibilidad de agua en la región, además de conocer los momentos más adecuados para la fertilización, para el control de plagas y enfermedades (CENICAFE, 2011).

Por lo anterior, es de gran importancia, analizar la fluctuación de las variables climáticas que se presentan en cada zona de estudio y determinar su efecto sobre el crecimiento del café en los ecotopos 220A y 221A del departamento de Nariño.

METODOLOGIA

Localización: La investigación se realizó en cuatro municipios productores de Café (Sandoná, Consacá, La Florida y La Unión) del departamento de Nariño; en cada municipio se tomaron tres lotes experimentales de 1 ha cada uno, ubicados en tres rangos altitudinales (Tabla 1).

Tabla 1. Localización de los lotes experimentales según el municipio, vereda, coordenadas y altitud.

Municipio	Vereda	Coordenadas		Altitud (msnm)
Sandoná	San Isidro	1° 12' 27" N	77° 46' 45" W	2015
	San Miguel	1° 10' 25" N	77° 48' 32" W	1700
	San Francisco	1° 13' 36" N	77° 44' 54" W	1536
Consacá	San Antonio	1° 12' 50" N	77° 25' 56" W	1989
	Bomboná	1° 11' 26" N	77° 27' 31" W	1668
	Cariaco Bajo	1° 10' 30" N	77° 28' 07" W	1577
La Florida	San Francisco	1° 22' 20" N	77° 20' 43" W	2030
	Santana	1° 23' 56" N	77° 18' 53" W	1877
	La Joya	1° 22' 06" N	77° 17' 56" W	1677
La Unión	Buenos Aires	1° 34' 23" N	77° 07' 38" W	2030
	El Sauce	1° 34' 23" N	77° 07' 38" W	1620
	La Playa	1° 38' 28" N	77° 09' 00" W	1430

Diseño experimental: Se realizó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con tres tratamientos correspondientes a tres altitudes y 16 repeticiones correspondientes a plantas evaluadas; el área para cada tratamiento fue de 1 ha.

Cada lote se encuentra sembrado con café *C. arabica* var Castillo de un año de edad. En cada lote experimental se seleccionaron al azar 16 plantas de café a libre exposición debidamente etiquetadas; éstas se evaluaron cada dos meses para determinar la dinámica de crecimiento, con base en la evaluación de las siguientes variables:

Altura de planta. Se la tomó desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la misma usando una cinta métrica.

Diámetro de planta. Se determinó el diámetro usando un “pie de rey” con el cual se tomó la medida en el cuello de la planta.

Número total de ramas. Se realizó un conteo del número total de ramas, teniendo en cuenta el número de ramas secundarias en cada planta.

Área foliar. Para el área foliar se midió el largo (L) de seis hojas, tomando dos de la zona inferior, dos de la zona media y dos de la zona superior de cada planta rotulada; con el promedio de esta información se aplicó la siguiente fórmula propuesta por el Grupo de investigación Frutales Andinos (GPFA):

$$AF = (4,54 + 2,38L) / (1 - 0,15L + 0,007L^2)$$

Una vez se determinó el área foliar promedia, se multiplicó por el número de hojas/planta.

Índice de área foliar (IAF). Es el resultado de dividir el AF de cada planta por el área que ocupa.

Longitud de ramas. Se tomaron las medidas de seis ramas: dos de la zona inferior, dos de la zona media y dos de la zona superior de la planta, utilizando una cinta métrica.

Toma de datos climáticos. Los datos climáticos (precipitación, temperatura, humedad relativa y radiación fotosintéticamente activa) fueron obtenidos de las diferentes estaciones climáticas (Spectrum Technologies, inc. Modelo: 2900ET Weather Station) ubicadas en cada lote de estudio.

Análisis estadístico. A los datos procesados de las variables evaluadas se les realizó un análisis de varianza y pruebas de medias de tukey al 95% de confiabilidad, mediante la utilización del software SAS.

RESULTADOS Y DISCUSION

Aspectos climatológicos

Radiación Fotosintéticamente Activa. El comportamiento de la variable Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) en cada uno de los tres lotes experimentales de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida, se presenta en la Figura 1.

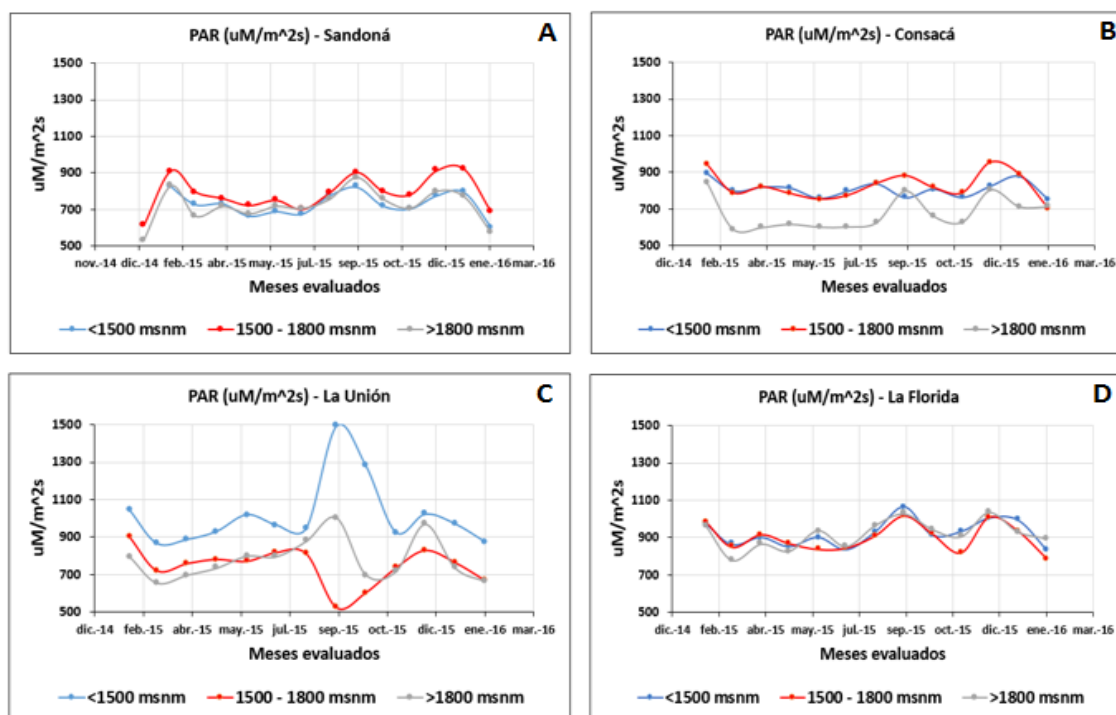


Figura 1. Radiación fotosintéticamente activa (RFA), de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida.

La RFA registrada durante el año de medición, en los tres lotes de los municipios de Sandoná, Consacá y La Florida no presentó gran variación, sin embargo, en el municipio de La Unión, se presentaron diferencias notables en la RFA del lote ubicado a 1430 msnm, en el mes de septiembre con un pico máximo de 1489,51 uM/m²s, comparada con el mismo mes en los lotes ubicados a una altura de 1620 msnm y 2030 msnm, que mostraron una RFA de 523,86 uM/m²s y 1003,61 uM/m²s respectivamente.

Fracción del espectro solar que está comprendida entre los 400 a 700 nanómetros y que es capaz de producir actividad fotosintética (Guyot, 1992).

La evaluación de la RFA es de gran importancia en la medida que la utilización de esta energía se traduce en crecimiento vegetal, producción de biomasa y rendimiento de los cultivos (Liu *et al*, 2004; Kooman *et al.*, 1996).

Según Gómez (2012), los factores que regulan la productividad del café están asociados con la radiación y su intercepción como el área foliar, el uso eficiente de la radiación y la distribución de los asimilados; las fluctuaciones de la luminosidad en las diferentes altitudes de los lotes experimentales, deben estar asociadas con diferencias en la productividad.

Humedad relativa. La variación mensual de la variable humedad relativa (HR) en cada uno de los tres lotes experimentales de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida, se presenta en la Figura 2.

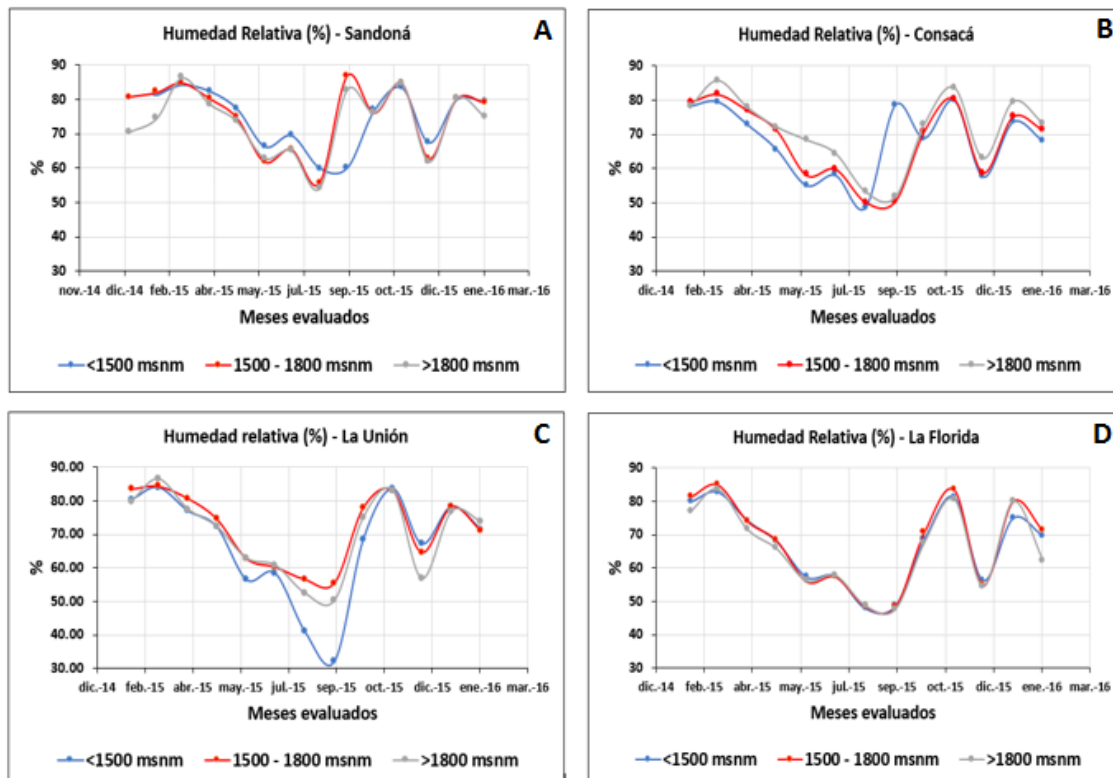


Figura 2. Humedad relativa (%), de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida.

La humedad relativa en los municipios de Sandoná, Consacá y La Florida mantuvieron un comportamiento que osciló entre 50 y 90 % de humedad relativa, En el municipio de La Unión, el lote experimental ubicado a 1430 msnm alcanzó una humedad relativa mínima del 32% en el mes de septiembre.

La humedad relativa es un factor importante en la producción del cultivo del café, en la medida en que haya una humedad apropiada se va a mantener la apertura estomática, por consiguiente, el proceso de la fotosíntesis estará activo (Guzman y Baldion, 2003)

Temperatura. El comportamiento de la temperatura, en cada uno de los tres lotes experimentales de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida, se indica en la Figura 3.

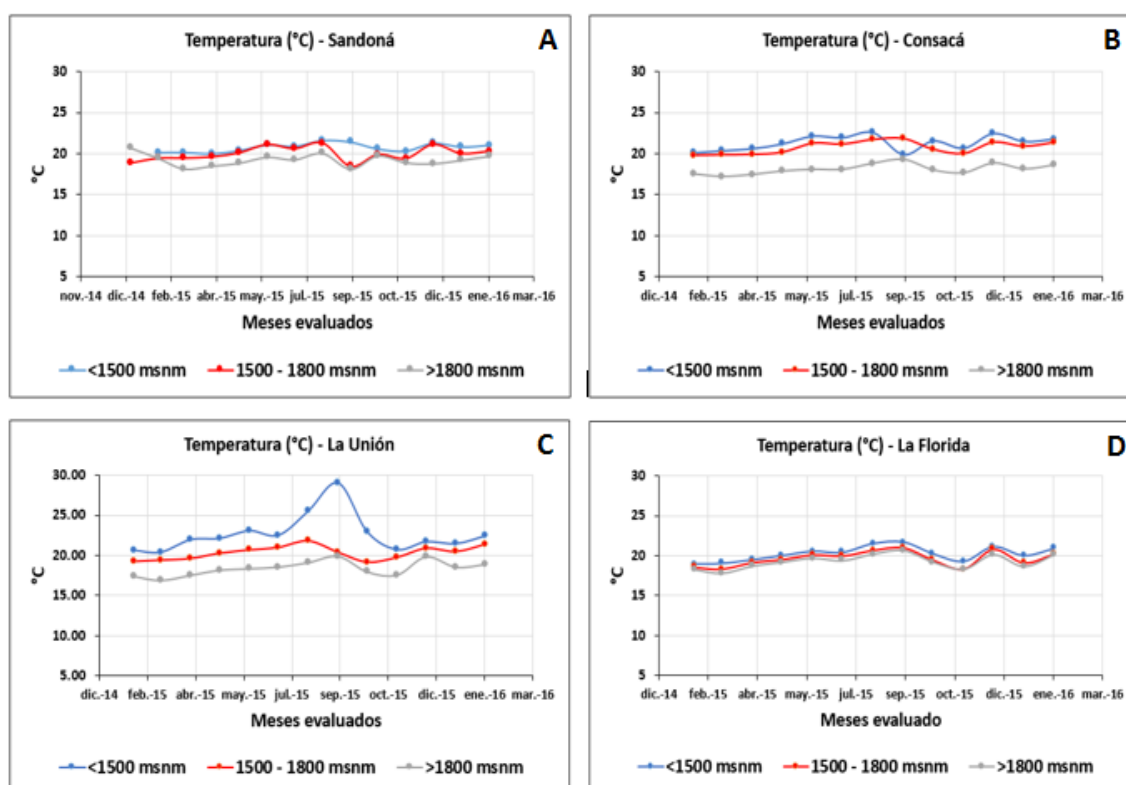


Figura 3. Temperatura en °C de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida.

La temperatura se mostró estable en los municipios de Sandoná, Consacá y La Florida, sin variaciones superiores a los 5°C entre los lotes; igual que el comportamiento de las variables anteriores, el lote experimental ubicado a 1430msnm en el municipio de La Unión presentó variaciones por encima de las observadas en las demás regiones, presentando una temperatura de 29°C en el mes de septiembre, por encima del promedio que fue de 22°C.

Temperaturas muy altas o bajas inciden en los procesos de crecimiento vegetal; en café, temperaturas por debajo de 4°C causan clorosis y muerte de tejidos nuevos, mientras que temperaturas por encima de los 30°C reducen la fotosíntesis y hay aborto floral (Pérez y Geissert, 2006).

Precipitación. El seguimiento de la precipitación en cada uno de los tres lotes experimentales de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida, se representa en la Figura 4.

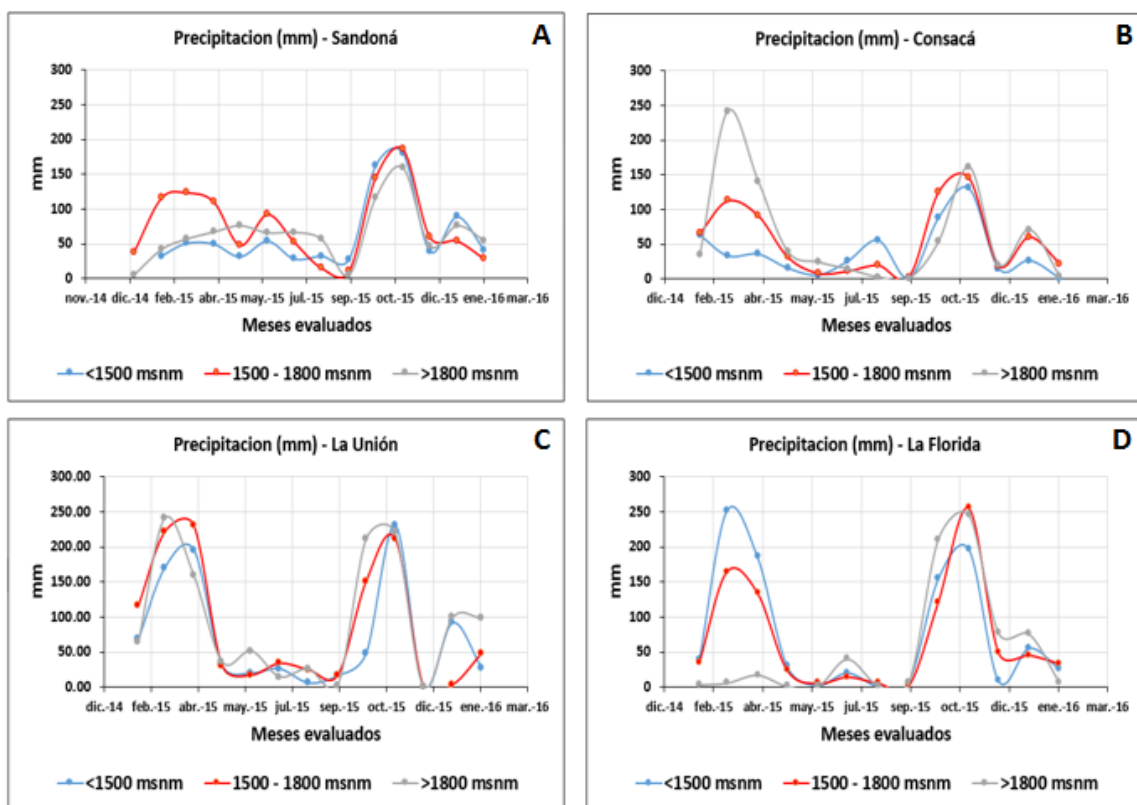


Figura 4. Precipitación (mm) de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida.

En los cuatro municipios se observan muy definidas las dos épocas de invierno que predominan en la región, la primera época en los meses de febrero a inicios de mayo y la segunda que inicia a mediados de septiembre hasta los inicios de diciembre; la mayoría de las zonas presentan comportamientos similares entre sus lotes evaluados, a excepción del lote del municipio de Consacá con altura de 1989 msnm, que en la primer época de lluvias del año alcanzó una precipitación de 241,2 mm, muy superior a la precipitación de los lotes del mismo municipio que osciló entre 112,4 mm y 32,7 mm.

En el municipio de La Florida el lote con altura de 2030 msnm, tuvo en la primera época de lluvias precipitaciones escasas con lluvias promedias de 10 mm.

En el cultivo de café, la reducción de las precipitaciones se traduce en baja productividad, efecto que según Laderach *et al.*, (2011) puede alcanzar valores del 75% al 90%, ya que los procesos fotosintéticos se afectan por el cierre de estomas y disminución de la actividad fisiológica (Rivera *et al.*, 2013); a su vez, en determinadas etapas de la fenología del café, como el momento de la diferenciación floral, se requiere un déficit hídrico que garantice alta producción floral (Camayo-Velez *et al.*, 2003).

Análisis de crecimiento

Altura de planta. La evaluación de la altura de plantas de café de un año permitió establecer diferencias altamente significativas entre tratamientos correspondientes a la ubicación del cultivo en diferentes altitudes, en los municipios de Sandoná, La Unión, Consacá y La Florida (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para la variable Altura de plantas (cm) en cultivos de café localizados en tres altitudes de municipios cafeteros del departamento de Nariño.

FV	GL	Cuadrados Medios			
		Sandoná	Consacá	La Florida	La Unión
REP	15	83,22	27,24	4,97	8,00
TRATAM	2	826,60**	484,35**	1260,00**	144,16**
ERROR	30	74,54	30,98	11,19	10,41

** Diferencias altamente significativas ($p < 0,01$)

En el municipio de Sandoná, el lote San Francisco (1536 msnm) tuvo una altura de 76.6 cm y presentó diferencias altamente significativas con respecto al lote ubicado en San Isidro (2015 msnm) con una altura de (62,22 cm); el cultivo ubicado en San Miguel (1700 msnm) no presentó diferencias con ninguno de los anteriores con 69,5 cm; en Consacá, el mayor crecimiento del café se observó en la vereda San Antonio con 63,12 cm, que presentó diferencias significativas con respecto a los cultivos de Cariaco (54,73 cm) y Bomboná (52,76 cm), los cuales se localizan respectivamente a 1989, 1577 y 1668 msnm.

En La Florida, el cultivo de San Francisco (2030 msnm) alcanzó la mayor altura (80,28 cm) con diferencias estadísticas al compararse con el cultivo de La Joya (1677 msnm) con una altura de 67,51 cm y con el de Santana (1877 msnm) que presentó 63,21 cm. En el municipio de La Unión, el cultivo de El Sauce (1620 msnm) presentó la mayor altura con 77,76 cm, con diferencias estadísticas respecto a los lotes ubicados en las veredas La Playa (1430 msnm) y Buenos Aires (2030 msnm) que alcanzaron los 74,17 cm y 71,8 cm, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Prueba de medias de Tukey para la altura de plantas de café en los municipios de Sandoná, Consacá, La Florida y La Unión.

msnm	Sandoná	Consacá	La Florida	La Unión
<1500	76,59 a	54,73 b	67,51 b	74,17 b
1501- 1800	69,50 ab	52,76 b	63,21 c	77,76 a
>1801	62,21 b	63,12 a	80,28 a	71,80 b

Promedios con letras iguales no hay diferencia estadísticamente entre sí. (Tukey < 0,05)

El comportamiento de la variable altura de plantas en cada uno de los tres lotes experimentales de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida, a través del tiempo, se presenta en la Figura 5.

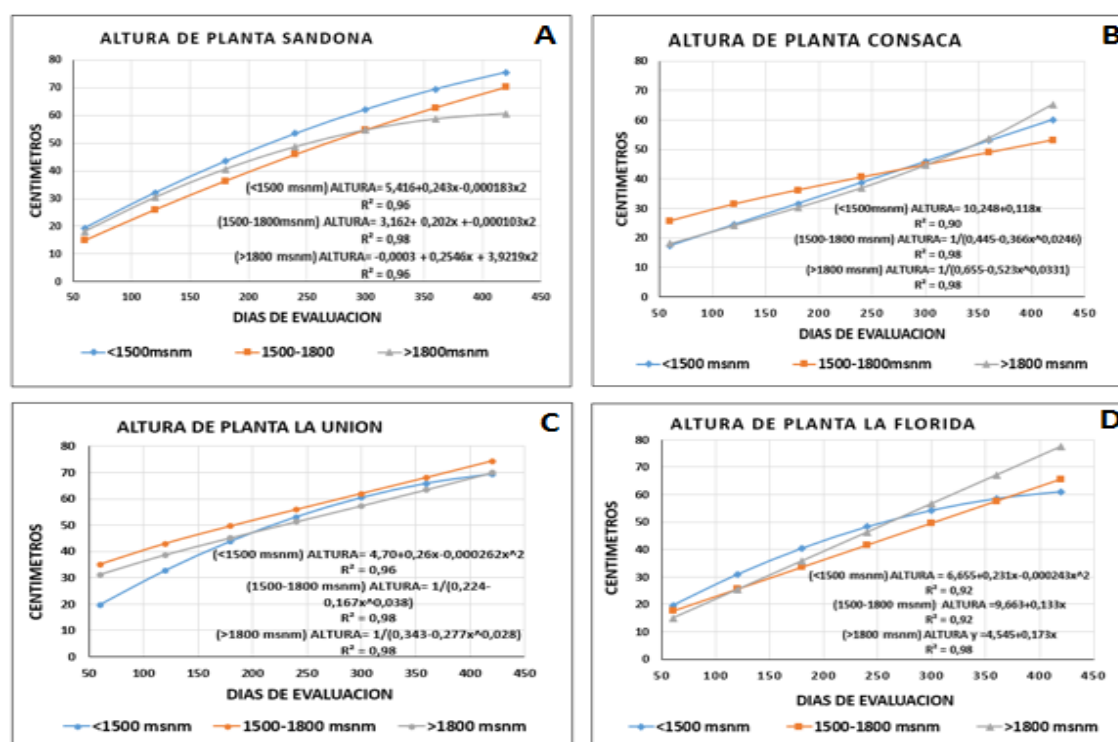


Figura 5. Dinámica de la altura de planta de café en los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida.

En el municipio de Sandoná los tres lotes experimentales tuvieron un comportamiento en su dinámica de crecimiento correspondiente a un modelo cuadrático con un R^2 de

0,96; 0,98 y 0,96 en los cultivos localizados en las veredas de San Francisco, San Miguel y San Isidro respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Modelos correspondientes al comportamiento de la variable altura de planta en cada uno de los municipios estudiados.

Municipio	Vereda	Modelo	R ²
Sandoná	San Francisco	$5,416+0,243x-0,000183x^2$	0,96
	San Miguel	$3,162+ 0,202x + -0,000103x^2$	0,98
	San Isidro	$-0,0003 + 0,2546x + 3,9219x^2$	0,96
Consacá	Cariaco	$10,248+0,118x$	0,90
	Bomboná	$1/(0,445-0,366x^{0,0246})$	0,98
	San Antonio	$1/(0,655-0,523x^{0,0331})$	0,98
La Unión	La Playa	$4,70+0,26x-0,000262x^2$	0,96
	El Sauce	$1/(0,224-0,167x^{0,038})$	0,98
	Buenos Aires	$1/(0,343-0,277x^{0,028})$	0,98
La Florida	La Joya	$6,655+0,231x-0,000243x^2$	0,92
	Santana	$9,663+0,133x$	0,92
	San Francisco	$4,545+0,173x$	0,98

En Consacá el lote de Cariaco presentó un comportamiento en su dinámica de crecimiento correspondiente a un modelo lineal, con un R² de 0,90; para los lotes de Bombona y San Antonio la dinámica de crecimiento correspondió un modelo de Harris con R² de 0,98 para los dos (Tabla 4)

En el municipio de La Unión para el lote de la playa el modelo que mejor explica el desarrollo de la variable es el de modelo cuadrático con un R² de 0,96; en los lotes Sauce y Buenos Aires el modelo descriptor fue el de Harris teniendo ambos un R² de 0,98 (Tabla 4).

En el municipio de La Florida, el lote La Joya mostró un crecimiento según el modelo cuadrático con un R² de 0,92; en los lotes de Santana y San Francisco el modelo de crecimiento fue el lineal con un R² de 0,92 y 0,98 respectivamente (Tabla 4)

Según la información anterior se evidencio una relación directa entre el crecimiento y las épocas de mayor precipitación, concordando con lo encontrado por Pochet y Hater

(1962) los cuales afirman que el ritmo de desarrollo de los árboles de café depende esencialmente de la lluvia. Suarez y Rodríguez (1956) encontraron que el café en Colombia presenta dos épocas de intenso crecimiento, las cuales coinciden generalmente con la época de florecencia.

Estudios realizados por Canell (1975) y Moens (1968) demuestran que en las zonas donde no existe un déficit hídrico en el suelo, el comportamiento del café está estrechamente relacionado con la disponibilidad de radiación solar, por tal motivo la RFA aprovechada por la planta, tiene una incidencia considerable en el crecimiento, según Black y Ong (2000) la RFA es utilizada en el proceso de la fotosíntesis a través de la fronda de las especies, asociada con la arquitectura, homogeneidad de la población y velocidad de crecimiento, concordando con lo descrito por Myster y Moe (1995) quienes afirman que las variaciones diarias de temperatura influyen directamente sobre la longitud de entrenudos altura de las plantas y en la floración.

Boss (1951), en un estudio realizado en Costa Rica encontró que un mínimo crecimiento ocurrió cuando las temperaturas fueron bajas y los días cortos sin encontrar relación entre la tasa de crecimiento y la precipitación o la humedad del suelo, debido a que los suelos estudiados tenían gran capacidad para retener agua.

Diámetro basal del tallo. La evaluación del diámetro basal del tallo de plantas de café de un año, permitió establecer diferencias altamente significativas entre tratamientos correspondientes a la ubicación del cultivo en diferentes altitudes localizados en los municipios de Consacá y La Florida; no se presentaron diferencias en los municipios de Sandoná y La Unión (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza para la variable diámetro basal del tallo (cm) en cultivos de café localizados en tres altitudes de municipios cafeteros del departamento de Nariño.

FV	GL	Cuadrados medios			
		Sandoná	Consacá	La Florida	La Unión
REP	15	0,026	0,010	0,020	0,061
TRATAM	2	0,011 ^{ns}	0,560**	0,726**	0,103 ^{ns}
ERROR	30	0,139	0,025	0,015	0,091

** Diferencias altamente significativas ($p < 0,01$); ns=diferencias no significativas

En Consacá, el mayor diámetro se presentó en la vereda de San Antonio con 1,88 cm, que mostró diferencias estadísticas con respecto a Cariaco con 1,65 cm y Bombona con 1,51 cm, los cuales se localizan a una altitud de 1989 msnm, 1577 msnm y 1668 msnm respectivamente. En La Florida, el mayor diámetro se presentó en la vereda La joya (1677 msnm) con 2,23 cm, seguida del lote de San Francisco (2030 msnm) con 2,18 cm, los cuales presentaron diferencias estadísticas con el lote de la vereda Santana (1877 msnm) con 1,84 cm de diámetro. Es posible que las variaciones en la precipitación de cada lote experimental sean las causantes de las diferencias en el crecimiento, en este caso del diámetro (Tabla 6).

Tabla 6. Prueba de medias de Tukey para el diámetro basal del tallo en los municipios de Sandoná, Consacá, La Florida y La Unión.

Altitud	Sandoná	Consacá	La Florida	La Unión
<1500	2,08 a	1,65 b	2,23 a	1,82 a
1501- 1800	2,12 a	1,51 c	1,84 b	1,98 a
>1801	2,07 a	1,88 a	2,18 a	1,88 a

Promedios con letras iguales no hay diferencia estadísticamente entre sí. (Tukey < 0,05).

El comportamiento del diámetro basal del tallo en cada uno de los tres lotes experimentales de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida, a través del tiempo, se presenta en la Figura 6.

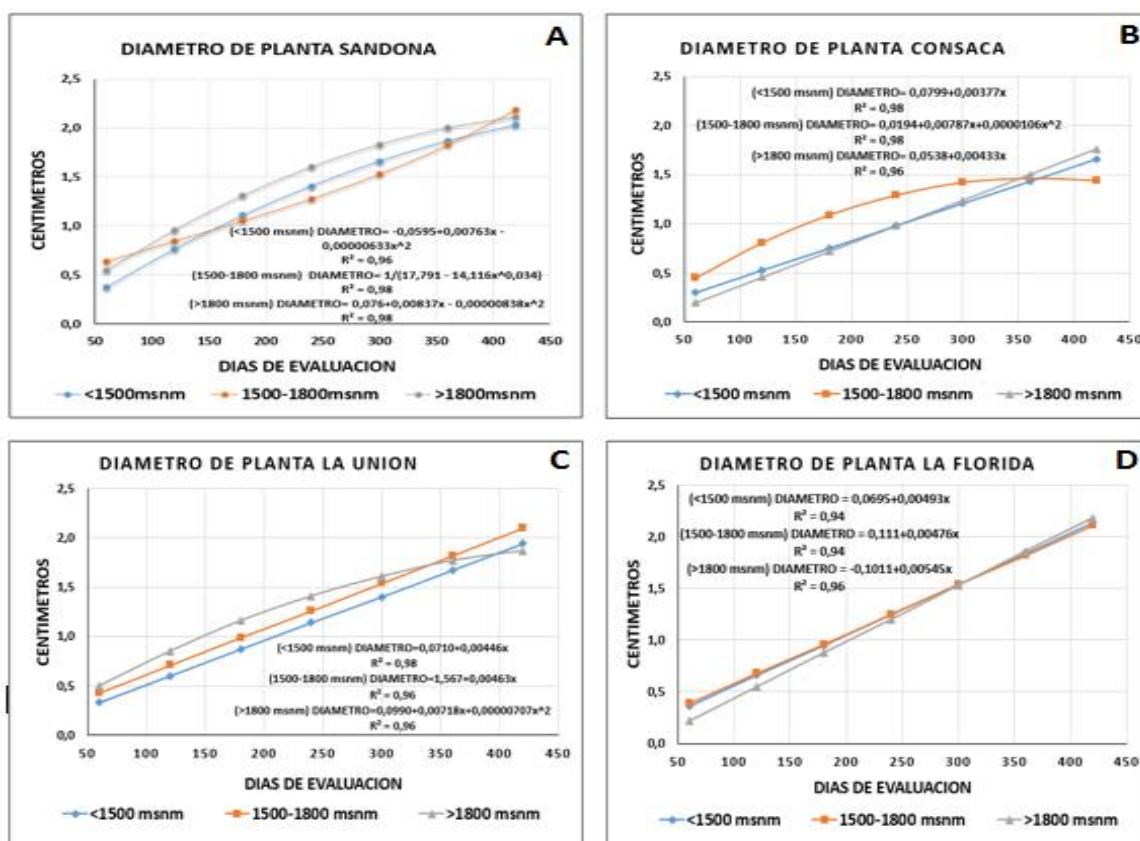


Figura 6. Dinámica del diámetro basal del tallo de planta de café, en los municipios de Sandomá, Consacá, La Unión y La Florida.

En el municipio de Sandomá, el modelo cuadrático describió el comportamiento de los lotes San Francisco y San Isidro con un R^2 de 0,96 y 0,98 respectivamente, el lote de la vereda San Miguel fue descrito por el modelo de Harris con un R^2 de 0,98 (Tabla 7).

Tabla 7. Modelo correspondiente al comportamiento de la variable diámetro de planta en cada uno de los municipios estudiados.

Municipio	Vereda	Modelo	R^2
Sandomá	San Francisco	$-0,0595+0,00763x - 0,00000633x^{\wedge}2$	0,96
	San Miguel	$1/(17,791 - 14,116x^{\wedge}0,034)$	0,98
	San Isidro	$0,076+0,00837x - 0,00000838x^{\wedge}2$	0,98
Consacá	Cariaco	$0,0799+0,00377x$	0,98
	Bomboná	$0,0194+0,00787x+0,0000106x^{\wedge}2$	0,98
	San Antonio	$0,0538+0,00433x$	0,96
La Unión	La Playa	$0,0710+0,00446x$	0,98
	El Sauce	$1,567+0,00463x$	0,96

	Buenos Aires	$0,0990+0,00718x+0,00000707x^2$	0,96
	La Joya	$0,0695+0,00493x$	0,94
La Florida	Santana	$0,111+0,00476x$	0,94
	San Francisco	$-0,1011+0,00545x$	0,96

Los lotes Cariaco y San Antonio del municipio de Consacá tienen un comportamiento de tipo lineal con un R^2 de 0,98 y 0,98 respectivamente, el lote de la vereda Bombona mostró un comportamiento cuadrático ($R^2=0,98$) (Tabla 7).

En el municipio de La Unión, los lotes de La Playa y El Sauce mostraron un crecimiento de tipo lineal con un R^2 de 0,98 y 0,96 respectivamente y el lote de la vereda Buenos Aires, un modelo cuadrático con un R^2 de 0,96 (Tabla 7).

Para el municipio de La Florida, La Joya, Santana y San Francisco tuvieron un crecimiento de tipo lineal con un R^2 de 0,94; 0,94 y 0,96 respectivamente (Tabla 7).

El diámetro basal del tallo mostró un mayor desarrollo en la zona comprendida entre los 1500 a 1800 msnm, con excepción del municipio de la Florida en el cual el mayor diámetro basal se registró en la zona comprendida a más de 1800 msnm. Según Razz *et al.*, (1994), el desarrollo del tallo obedece a una respuesta de la planta para asegurar mejor anclaje ante el incremento del peso de la parte aérea; por otra parte, la temperatura podría haber influido en el desarrollo normal del tallo, como lo afirman Loreto y Centritto (2008) quienes sugieren que la temperatura puede alterar las propiedades fisiológicas de las plantas, la composición vegetal, tasas generales de crecimiento, estructura y arquitectura del dosel y profundidad de raíces.

Numero de ramas. El análisis de varianza del número de ramas en plantas de café de un año permitió establecer diferencias altamente significativas entre tratamientos

correspondientes a la ubicación del cultivo en diferentes altitudes, en los municipios de Sandoná, La Unión, Consacá y La Florida (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de varianza para la variable número de ramas (cm) en cultivos de café localizados en tres altitudes de municipios cafeteros del departamento de Nariño.

FV	GL	Cuadrados Medios			
		Sandoná	Consacá	La Florida	La Unión
REP	15	260,62	3,55	9,38	8,40
TRATAM	2	1778,39*	598,93**	976,27**	202,14**
ERROR	30	385,35	8,27	8,07	8,30

** Diferencias altamente significativas ($p < 0,01$); * Diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el municipio de Sandoná, las plantas de Las Delicias (1536 msnm) con 52,68 ramas, presentaron diferencias altamente significativas con respecto al lote Maná (1700 msnm) con 32,00 ramas/planta; el cultivo ubicado en La Cruz (2015 msnm) no presentó diferencias con ninguno de los anteriores (38,81 ramas/planta); en Consacá el mayor número de ramas se observó en la vereda Bombona con 34,12 que presentó diferencias significativas con respecto a los cultivos de San Antonio con 24,87 y Cariaco con 22,56 los cuales se localizan respectivamente a 1668, 1989 y 1577 msnm.

En La Florida, el cultivo de La Joya (1677 msnm) alcanzó el mayor número de ramas (64,87) con diferencias estadísticas al compararse con el cultivo de San Francisco (54,31) y con el de Santana (49,62). Estos valores superiores en el número de ramas pueden estar influenciados por la alta precipitación observada en el primer semestre en las veredas de La Joya y San Francisco ya que según Camayo-Velez *et al.* (2003) y CENICAFE (2001), una alta disponibilidad hídrica puede inducir a la formación de un mayor número de ramas secundarias y terciarias

En el municipio de La Unión, el cultivo de Buenos Aires (2030 msnm) presentó el mayor número de ramas con 32,75 y el cultivo El Sauce (1620 msnm) con 30,62 ramas,

obteniéndose diferencia estadística respecto al cultivo de La Playa (1430 msnm) con 25,81 ramas (Tabla 9).

Tabla 9. Prueba de medias de Tukey para número de ramas de planta para los municipios de Sandoná, Consacá, La Florida y La Unión.

msnm	Sandoná	Consacá	La Florida	La Unión
<1500	52,68 a	22,56 b	64,87 a	25,81 b
1501- 1800	32,00 b	34,12 a	49,62 c	30,62 a
>1801	38,81 ab	24,87 b	54,31 b	32,75 a

Promedios con letras iguales no hay diferencia estadísticamente entre sí. (Tukey < 0,05).

Según Camayo-Velez *et al.* (2003), en la etapa de diferenciación floral, uno de los requisitos importantes es la presencia de déficit hídrico; la hidratación excesiva del cultivo durante esta época puede ser una causante de la transformación de yemas, potencialmente reproductivas, a yemas vegetativas, originándose un mayor número de yemas secundarias y terciarias.

La dinámica del número de ramas en cada uno de los tres lotes experimentales de los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida, a través del tiempo, se presenta en la Figura 7.

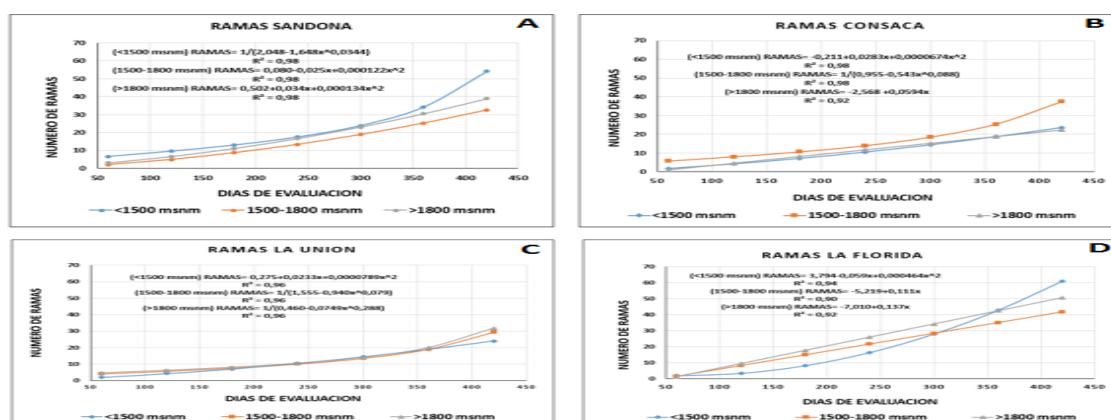


Figura 7. Dinámica del número de ramas en planta de café en los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida.

En Sandoná, los lotes experimentales, San Miguel y San Isidro fueron determinados por un modelo de crecimiento cuadrático con un R^2 de 0,98; y el lote de la vereda San Francisco determinado mediante un modelo de Harris con un R^2 de 0,98 (Tabla 10).

Los lotes del municipio de Consacá, en las veredas de Cariaco (R^2 de 0,98), Bombona (R^2 de 0,98) y San Antonio (R^2 de 0,92) el comportamiento de la variable fue indicado por los modelos cuadrático, Harris y lineal respectivamente (Tabla 10).

En el municipio de La Unión, en los lotes La Playa y el Sauce el modelo que determino su comportamiento fue el lineal, con un R^2 de 0,98 y 0,96 en el orden anterior, y para el lote Buenos Aires el modelo que determinó el comportamiento de la variable fue cuadrático, con un R^2 de 0,96 (Tabla 10).

El lote La Joya, municipio de la Florida, presentó un crecimiento de tipo cuadrático con un R^2 de 0,94; los lotes Santana y San Francisco siguieron un modelo lineal en ambos casos, con R^2 de 0,90 para el lote Santana y un R^2 de 0,92 para San Francisco (Tabla 10).

Tabla 10. Modelos correspondientes al comportamiento del número de ramas en cada uno de los municipios estudiados.

Municipio	Vereda	Modelo	R^2
Sandoná	San Francisco	$1/(2,048-1,648x^{0,0344})$	0,98
	San Miguel	$0,080-0,025x+0,000122x^2$	0,98
	San Isidro	$0,502+0,034x+0,000134x^2$	0,98
Consacá	Cariaco	$-0,211+0,0283x+0,0000674x^2$	0,98
	Bomboná	$1/(0,955-0,543x^{0,088})$	0,98
	San Antonio	$-2,568 +0,0594x$	0,92
La Unión	La Playa	$0,0710+0,00446x$	0,98
	El Sauce	$1,567+0,00463x$	0,96
	Buenos Aires	$0,0990+0,00718x+0,00000707x^2$	0,96
La Florida	La Joya	$3,794-0,059x+0,000464x^2$	0,94
	Santana	$-5,219+0,111x$	0,90
	San Francisco	$-7,010+0,137x$	0,92

Observaciones realizadas por Gómez en el municipio de Venecia - Antioquia, sugieren que en la época invernal se presenta un mayor crecimiento de ramas en el cafeto (Gómez *et al.*, 1977).

Varios estudios realizados en Colombia, muestran que en la zona cafetera central ocurre un mayor crecimiento del tallo y las ramas en los meses de marzo - abril y septiembre - octubre. También es importante anotar que en aquellas regiones donde hay períodos secos acentuados, el comportamiento de los cafetos está más condicionado por las variaciones de la precipitación o de la humedad del suelo, mientras que en las regiones donde no ocurren deficiencias hídricas en el suelo, el comportamiento del cafeto está estrechamente relacionado con la disponibilidad de la radiación solar (Jaramillo y Valencia 1980).

Índice de Área Foliar (IAF). La dinámica del IAF durante un año de evaluación, en cada uno de los lotes experimentales localizados en diferencias altitudes en los municipios de Sandoná (A), Consacá (B), La Unión (C) y La Florida (D), puede observarse en la Figura 7.

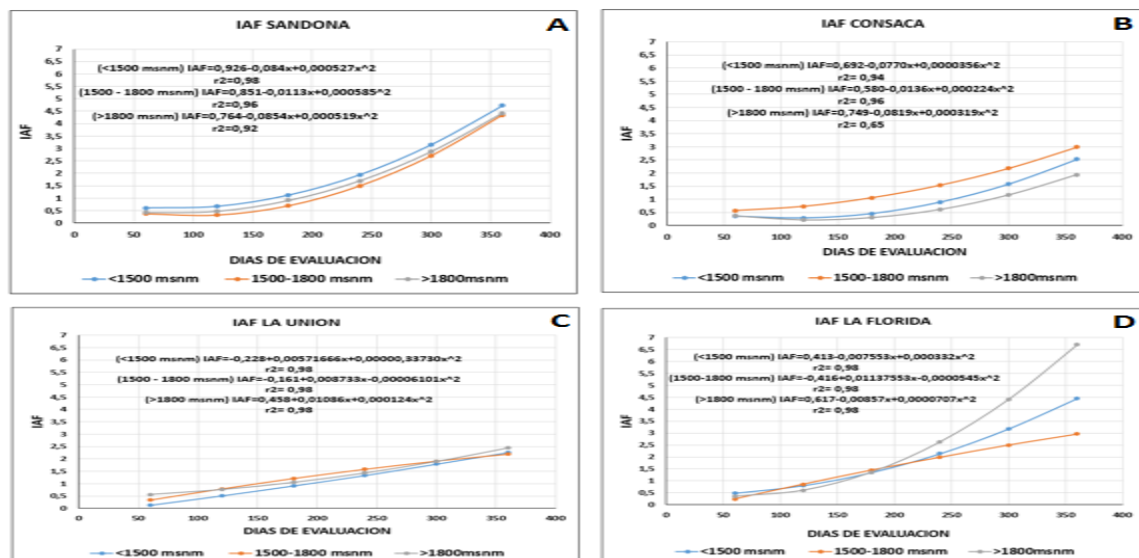


Figura 7. Índice de Área Foliar (IAF) en los municipios de Sandoná, Consacá, La Unión y La Florida.

Los tres lotes del municipio de Sandoná, San Francisco, San Miguel y San Isidro tuvieron un crecimiento que fue interpretado por un modelo cuadrático, con un R^2 de 0,98; 0,94 y 0,92 respectivamente (Tabla 11).

En el municipio de Consacá, los tres lotes experimentales (Cariaco, Bombona y San Antonio) presentaron un comportamiento de tipo cuadrático con un R^2 de 0,96 (Tabla 11).

Las veredas de La Playa y el Sauce del municipio de La Unión, siguieron un modelo cuadrático y R^2 de 0,94 y 0,88 respectivamente, en la vereda Buenos Aires se determinó el crecimiento mediante un modelo de Harris con un R^2 de 0,98 (Tabla 11).

En los lotes experimentales del municipio de La Florida, en el lote La Joya y en San Francisco, el crecimiento del café fue descrito por un modelo cuadrático, en el lote de Santana por un modelo de Harris, teniendo estos un R^2 de 0,94; 0,98 y 0,96, respectivamente (Tabla 11).

Tabla 11. Modelos correspondientes al comportamiento de la variable índice de área foliar en cada uno de los municipios estudiados.

Municipio	Vereda	Modelo	R^2
Sandoná	San Francisco	$0,9243-0,08363x+0,000527x^2$	0,98
	San Miguel	$0,910-0,0120x+0,000594x^2$	0,94
	San Isidro	$0,776-0,0861x+0,000521x^2$	0,92
Consacá	Cariaco	$117,596-1,035x+0,0212x^2$	0,96
	Bomboná	$318,101-2,743x+0,030x^2$	0,96
	San Antonio	$97,842-0,6164x+0,01888x^2$	0,96
La Unión	La Playa	$120,003-0,697x+0,021x^2$	0,94
	El Sauce	$258,005-1,388x+256,624x^2$	0,88
	Buenos Aires	$1/(0,00628-0,00244x^{0,150})$	0,98
La Florida	La Joya	$335,78-3,594x+0,0460x^2$	0,94
	Santana	$1/(0,0148-0,0108x^{0,0493})$	0,98
	San Francisco	$520,23-13,587x+0,0929x^2$	0,96

Se define como el área de una superficie fotosintética que cubre un área de terreno (Arcila, 1990).

Estos resultados muestran, según lo manifiestan Jaramillo y Valencia (1980), que las condiciones climáticas favorables, buena disposición de agua y disponibilidad energética favorecen el crecimiento vegetativo constante durante el periodo experimental.

El ÁF (área foliar, de donde deriva el IAF) es una variable de importancia principal para el modelaje de los mecanismos de intercambio de agua y energía que ayuda a comprender las interacciones cultivo-ambiente (Gomes *et al.*, 2000)

El IAF, presentó similitud entre los municipios de Consacá y la Unión, 2,99 y 2,45 respectivamente; mientras que en Sandoná y La Florida se registró un IAF superior de 4,73 y 6,7 respectivamente; según Da Matta *et al.*, (2003) las reducciones en el IAF están relacionados en gran parte por deficiencias en su nutrición, daño celular, y reducción del área foliar.

La estructura del dosel desempeña un papel fundamental en los procesos de intercambio de materia y energía entre la planta y la atmósfera, de tal forma que describir su estado y condición constituye un objetivo prioritario y fundamental en estudios sobre crecimiento vegetal. Tanto el índice de área foliar (IAF) como la distribución angular de las hojas son indicadores usados ampliamente para representar la arquitectura vegetativa de la parte aérea (Gordon *et al.*, 1994)

El incremento de la interceptación de la radiación solar por las plantas cultivadas, ya sea por cambios en su arquitectura o por aumentos en la densidad de población, ocasiona un incremento del área foliar total, capaz de interceptar y convertir dicha energía lumínica en material aprovechable por la planta (Mariscal *et al.*, 2000).

CONCLUSIONES

- Los municipios cafeteros del departamento de Nariño en los que se hizo el estudio, presentaron una alta variabilidad climática debido a las diferencias en su relieve y su cercanía con el Ecuador.
- La ubicación de los cultivos en los diferentes rangos altitudinales no mostró una relación estrecha con las variables altura de plantas, número de ramas y diámetro basal del tallo.
- La mayor disponibilidad de agua durante el primer semestre incidió en un mayor número de ramas/planta de café.
- La temperatura, radiación y la precipitación fueron los principales factores que condicionaron el crecimiento del café en los lotes estudiados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARCILA, J. 1990. Productividad potencial del cafeto en Colombia. In: Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro nacional de investigaciones del café. Chinchiná (Colombia). 50 años de CENICAFE. 1938 – 1988. Conferencias conmemorativas Chinchiná (Colombia), Cenicafe. 105 - 119 p.

BLACK, C.; ONG, C. 2000. Utilization of light and water in tropical agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*. 104 (1):25 - 47.

BOSS, M. 1951. Some external and internal factors related to the growth cycle of coffee. San José, IICA, 64p.

CAMAYO-VELEZ, G., CHAVEZ-CÓRDOBA, B., ARCILA-PULGARÍN, J., JARAMILLO-ROBLEDO, A. 2003. Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná-Caldas. *Cenicafé*. 54(1):35 - 49.

CANELL, M. 1975. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. *Journal of coffee research (India)*. 5 (1-2):7 - 20.

CENICAFE. 2011, La agroclimatología como herramienta para planificar la caficultura a nivel regional. Disponible en: <http://www.cenicafe.org/es/index.php/forums/viewthread/59/>; consulta: marzo, 2015.

CENICAFE. 2001. Crecimiento del cafeto en diferentes altitudes. Cuantificación de la floración, cuajamiento y desarrollo del fruto en las subestaciones experimentales. In: Resumen informe anual de actividades Cenicafe 2000-2001. Chinchiná, Cenicafe.

DA MATTA, F; CHAVES, M; PINHEIRO, H; DUCATTI, C; LOUREIRO, M. 2003 Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. - *Plant Sci*. 164:111 - 117.

FEDECAFE. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. 2015. Comportamiento de la industria cafetera colombiana 2015. Disponible online en: https://www.federaciondefcafeteros.org/static/files/Informe_Comportamiento_de_la_Industria_2015.pdf; consulta: febrero, 2017.

- GOMES, A; ARAUJO A; ROSSIELLO R; C. PIMENTEL. 2000. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. Revista PAB. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 35(10).
- GOMEZ G. 1977. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad del crecimiento del cafeto. Cenicafe (Colombia). 28 (1):3 - 17.
- GOMEZ, J; RESTREPO, C; NASH, J; VALDES, A; REINA, M; ZULUAGA, S; BERMUDEZ, W; OVIEDO, S; PERFETTI, J. 2011. La política comercial en el sector agrícola en Colombia, primera edición, La Imprenta Editores S.A. Colombia, 145 p.
- GOMEZ, L. 2012. Metabolismo del carbono y relación fuente-demanda en el cafeto (*Coffea arabica* L) (Tesis doctoral). Universidad Nacional, Medellín, Colombia. 208 p.
- GORDON, R; BROWN D.; DIXON, M. 1994. Non destructive estimation of potato leaf area index using a fish-eye radiometer. Potato Res. 37:393 - 402.
- GUYOT, G., 1992. Cours de bioclimatologie. Chapitre 1 : Le rayonnement. En : <http://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:102608>; consulta : mayo, 2017.
- GUZMAN, M; BALDION, J. 2003.El clima de la sede principal del centro nacional de investigaciones de café, Chinchiná, Caldas. Cenicafé 54(2):110 - 133.
- JARAMILLO R, A. 2005. Clima andino y café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 196 p.
- JARAMILLO, R; VALENCIA, A. 1980. Los elementos climáticos y el desarrollo de *C. arabica* L. en Chinchiná (Colombia). Cenicafe 31(4):127 - 143.
- KOOMAN, P; FAHEM, M; TEGERA, P; HAVERKORT, A. 1996. Effects of climate on different potato genotypes radiation interception total and tuber dry matter production. Europ. J. Agronomy. 5:193 - 206.
- LADERACH, P., M. LUNDY, A. JARVIS, J. RAMIREZ, E. PEREZ PORTILLA, K. SCHEPP, AND A. EITZINGER. 2011. Predicted impact of climate change on coffee-supply chains. pp. 703-723. In: W. L. Filo (ed.). The economic, social and political elements of climate change. Springer-Verlag. Berlig, Heidelberg, Germany.

- LIU, J; MILLER, J; PATTEY, E; HABOUDANE, D; STRACHAN, I; HINTHER, M. 2004. Monitoring crop biomass accumulation using multi-temporal hyperspectral sensing data. IEEE. 1637 - 1640.
- LORETO, F. & M. CENTRITTO. 2008. Leaf carbon assimilation in a water-limited world. Plant Biosystems. 142:154 - 161.
- MOENS, P. 1968. Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre el cafeto. Turrialba (Costa Rica) 18 (3): 209-233.
- MYSTER, J; MOE, R. 1995. effect of diurnal teperature alternations on plant morphology in some greenhouse crops- a mini review. Scientia Horticulture. 62(4):205 - 215.
- MARISCAL, M; ORGAZ, F; VILLALOBOS, F. 2000. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. Agricultural and Forest Meteoreology. 100(2-3): 183-197.
- PÉREZ P., E.; D. GEISSERT K. 2006. Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) - Palma Camedor (*Chamaedorea elegans* Mart.). Inerciencia. 31:556 - 562.
- POCHET, P; HATERT, J. 1962. Contribution a l'étude phenologique du cafeir Robusta (*Coffea Canephora* Pierre) dans les conditions de Yanganmbi. Belgica Institut National pour l'étude agronomique du Congo, 43 p (Serie Scientifique N° 94).
- POHLAN, J; JANSSENS, J. 2011. Grow and production of coffee, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) Vol III, 11p.
- RAZZ, R; CLAVERO, T y PEREZ, J. 1994. Crecimiento y rendimiento de materia seca de dos ecotipos de *Leucaena leucocephala* bajo diferentes niveles de fertilización. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 11(4):347 - 354.
- RITCHIE, J. 1991. Specifications for the ideal model for predicting crop yields. In: Muchow, R.S.; Bellamy, J.A. (Eds.). Climate risk in crop production: models and management for semiarid tropics and subtropics. Wallingford, CAB. 97 - 122 p.

RIVERA, M., GAVRILOV, I., CASTILLO, M., ORDAZ, V., DÍAZ, G.; R. GUAJARDO. 2013. Vulnerabilidad de la producción del café (*coffea arabica* L.) al cambio climático. Global Terra Latinoamericana. 31(4):305 - 313.

SUAREZ DE C; RODRIGUEZ G. 1956. Relación entre el crecimiento del cafeto y algunos factores climáticos. Cenicafé. Boletín técnico (Colombia). 2 (16):5 - 28.